

Luftbürtige Stickstoffeinträge an den Meßstationen der "Waldökosystemstudie Hessen" und ihre Auswirkungen auf die Boden- und Quellwasserqualität

A. BALAZS

Hessische Versuchsanstalt, Abteilung Forsthydrologie, Hann. Münden

Einleitung

Zu den Schlüsselprozessen der Waldschadensforschung zählt neuerdings neben dem Schwefel- auch der Stickstoffhaushalt. Das Stickstoffproblem offenbart sich in erster Linie bei den hohen luftbürtigen Stickstoffeinträgen und in den hohen Nitratausträgen der Böden. Die Waldökosysteme sind vielerorts nicht mehr in der Lage, das hohe aktuelle Stickstoffangebot zu speichern und für die Stoffproduktion zu nutzen. Deshalb geben die Böden den Stickstoff in Form von Nitrat im Sickerwasser an die aquatischen Systeme weiter.

Im Zusammenhang mit der Immissionsbelastung des Waldes hat nicht nur das Stickstoffangebot insgesamt zugenommen, sondern zusätzlich verschob sich auch das Ammonium-Nitratverhältnis im Stickstoffangebot zugunsten des Ammoniums. Hierfür sind die Zunahme sowohl der Ammoniak-Emissionen als auch der Bodenversauerung verantwortlich. Waldbäume, die ihre Stickstoffernährung auf die Nitratform ausgerichtet haben (MOHR, 1990), weisen Ernährungsstörungen bis Ammoniumtoxizität auf (z.B. bei Kiefer, MOHR, 1990; HOFFMANN et al., 1990).

Die Belastung hessischer Wälder durch anthropogene Luftschadstoffe sowie deren Auswirkungen auf den Stoffhaushalt der Waldökosysteme werden im Rahmen des hessischen Untersuchungsprogrammes "Waldbelastungen durch Immissionen" (WdI) in den 6 Meßgebieten der "Waldökosystemstudie Hessen" seit 1983 ermittelt (GÄRTNER, 1983, 1987).

Material und Methode

Als forsthydrologischer Beitrag zum WdI-Meßprogramm werden in den 6 WdI-Meßgebieten jeweils auf bis zu vier Meßflächen im Freiland und in Fichtenaltbeständen zweiwöchentlich Niederschlagsproben und von je einer Fichten-Meß-

fläche aus drei Bodentiefen (50, 100 und 150 cm) mit vierfacher Wiederholung Bodensickerwasser sowie von mehreren Quellen Wasserproben entnommen und auf 15 anorganische chemische Parameter analysiert.

Nachfolgend werden als Beispiel bisheriger Befunde einige Ergebnisse von den WdI-Meßgebieten in Südhessen (Fürth im Odenwald), Südwesthessen (Königstein im Taunus), Südosthessen (Spessart), Osthessen (Grebenu), Nordhessen (Witzenhausen) und Westhessen (Frankenberg) vorgestellt.

Geologie und Böden

In den Untersuchungsgebieten treten kalk- und basenarme Gesteine auf. In Grebenu und Witzenhausen sind es klüftiger mittlerer sowie im Spessart und Fürth feinkörniger unterer Buntsandstein. Der Untergrund besteht in Königstein aus Tonschiefer und in Frankenberg aus Grauwackenschutt.

Die Böden sind überwiegend gut durchlässige Podsol-Braunerden und nur in geringem Umfang Pseudogleye mit geringer Durchlässigkeit. Bei allen betrachteten Waldböden finden wir eine mehr oder weniger gehemmte Humuszersetzung und sauren Humuszustand.

Probenahme, chemische Analyse und Auswertung

Für die Niederschlagsprobenahme wird der Niederschlagssammler "Münden 100" (BRECHTEL & HAMMES, 1984) verwendet. Jede Bestandesmeßfläche ist mit 20 Niederschlagssammlern, verteilt im 4 x 4 m Quadratverband, ausgestattet. Bei den Freilandmeßstellen werden 5 bis 10 solcher Sammler aufgestellt.

Das Bodensickerwasser wird mit Hilfe von automatisch gesteuerten Unterdruckkerzenlysimetern mit geringem Unterdruck von 0,1 bis 0,3 bar aus den Tiefen 50, 100 und 150 cm entnommen.

Die Quellen sind gefaßte, frei auslaufende Deckschuttquellen mit ganzjähriger Schüttung.

Die Proben werden von örtlichen Beobachtern entnommen und von einem Mitarbeiter der Hessischen Forstlichen Versuchsanstalt sofort eingesammelt und zu der Hessischen Landwirtschaftlichen Versuchsanstalt in Kassel zur Analyse gebracht.

Der Säureeintrag mit dem Niederschlag wird auf Äquivalenzbasis als Summe der Stoffeinträge von H^+ , NH_4^+ , Mn^{2+} , Al^{3+} und Fe^{3+} als Kronenraumbilanz berechnet (MATZNER & ULRICH, 1984).

Ergebnisse

Die luftbürtige Säurebelastung hessischer Wälder ist räumlich und zeitlich sehr verschieden (BALAZS, 1991). In den Fichtenbeständen betrug die durchschnittliche luftbürtige Säurebelastung ($\bar{\phi}$ der Meßjahre 1986 - 1989) zwischen 1,9 (Meßgebiet Spessart) und 3,8 (Meßgebiet Witzenhausen) $\text{kmol I\AA ha}^{-1} \text{a}^{-1}$.

Außer im Meßgebiet Witzenhausen wies auch das Meßgebiet Fürth mit 3,7 $\text{kmol I\AA ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ eine sehr hohe luftbürtige Säurebelastung auf. Relativ wenig belastet war außer Spessart noch das Meßgebiet Frankenberg mit 2,2 $\text{kmol I\AA ha}^{-1} \text{a}^{-1}$. Die Fichtenbestände der Meßgebiete Königstein erfuhren mit 2,8 $\text{kmol I\AA ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ etwa eine mittlere Säurebelastung aus der Luft.

Die Freiland-Säurebelastung (Protonendeposition + NH_4) war mit 0,73 bis 1,30 etwa zwischen 2,1- und 3,7-mal geringer als diejenige der Fichtenbestände. Die höchste Anreicherung der Säurebelastung bezüglich Freiland- und Fichtenbestand-Meßstelle erfolgte im Meßgebiet Fürth und die entsprechend geringste Anreicherung im Meßgebiet Spessart.

Auf den Freilandmeßstellen wurde im Durchschnitt der sechs Meßgebiete 13,3 $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ anorganischer Stickstoff mit dem Niederschlag deponiert. Dies entspricht etwa dem Mittel von insgesamt 96 Freiland-Meßstationen der Bundesrepublik Deutschland-West (BRECHTEL & POHLMANN, 1990). Der meiste Stickstoff wurde mit 15,8 bzw. 15,7 $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ in den Meßgebieten Witzenhausen und Fürth/Odenwald gemessen. Die geringsten Stickstoffeinträge mit dem Freilandniederschlag wurden mit 9,8 und 11,2 $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ in den Meßgebieten Grebenau und Frankenberg ermittelt (Abb. 1).

Der Ammoniumanteil an der anorganischen Stickstoffdeposition betrug im Durchschnitt 42 %. Die Rahmenwerte in den einzelnen Meßgebieten lagen zwischen 40 (Meßgebiet Frankenberg) und 44 % (Meßgebiet Witzenhausen).

Einen Zeittrend bei dem Stickstoffeintrag kann man wegen der kurzen Meßperiode nicht erkennen. Der durchschnittliche Jahreseintrag mit dem Freilandniederschlag lag zwischen 11,5 (Meßjahr 1988) und 14,9 $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ (Meßjahr 1987). Die Niederschlagshöhen im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt (Periode 1951-1980) waren überdurchschnittlich. Im Jahr 1988 betrug der Prozentwert 107 % und 1987 sogar 123 %.

Der Ammoniumanteil am Stickstoffeintrag wies von Jahr zu Jahr eine höhere Schwankung auf als von Meßgebiet zu Meßgebiet. Der geringste Ammoniumanteil war 1988 mit 37 %. Der höchste Ammoniumanteil trat 1989 mit 47 % auf. 1989 war die Freilandniederschlagssumme nur 94 % des lang-jährigen Durchschnitts.

Die Abbildung 2 zeigt die Stickstoffeinträge mit dem Kronendurchlaß der Fichte. Die höchsten Stickstoffeinträge mit dem Kronendurchlaß der Fichte wurden in den Meßgebieten Fürth und Witzenhausen mit 32,3 und 30,9 $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ gemessen, genauso wie dies bei dem Freilandniederschlag der Fall war. Auch die geringsten Stickstoffeinträge mit dem Kronendurchlaß der Fichte wurden in den

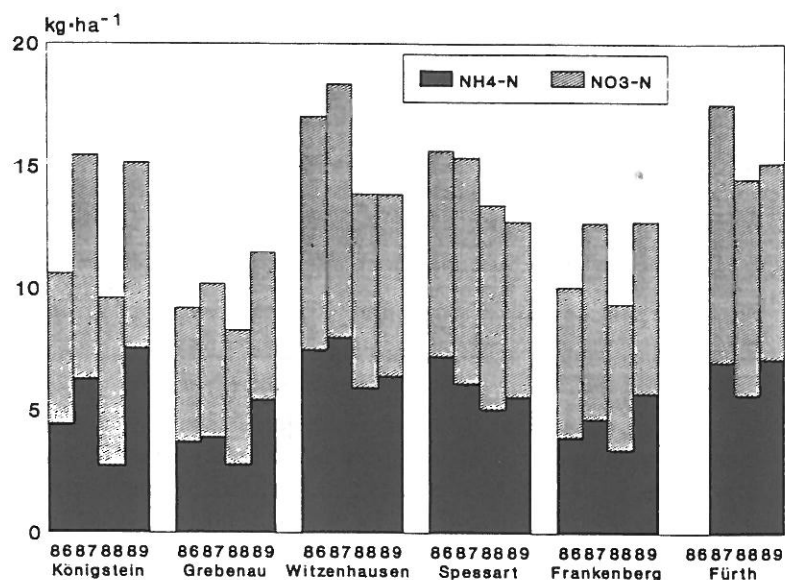


Abbildung 1
Jährlicher Ammonium- und Nitrat-Stickstoffeintrag mit dem Freilandniederschlag
in den WdI-Meßgebieten Hessens in $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$

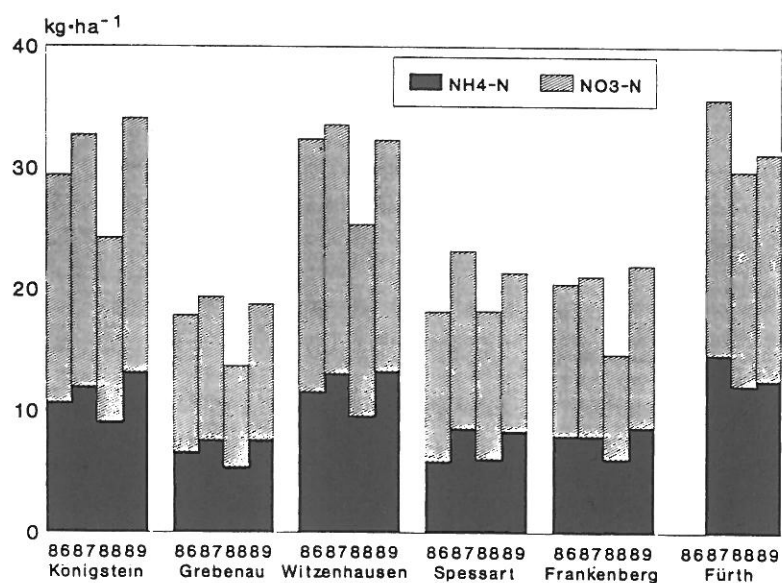


Abbildung 2
Jährlicher Ammonium- und Nitrat-Stickstoffeintrag mit dem Kronendurchlaß der
Fichte in den 6 WdI-Meßgebieten Hessens in $\text{kg}\cdot\text{a}^{-1}$

Meßgebieten Grebenau und Frankenberg mit 17,4 und 19,6 kg ha⁻¹ a⁻¹ ermittelt. Insgesamt wurde mit dem Kronendurchlaß der Fichte im Durchschnitt 25,1 kg ha⁻¹ a⁻¹ anorganischer Stickstoff dem Standort zugeführt. Diese Befunde aus Hessen liegen etwas unter dem Mittel von insgesamt 68 Fichten-Meßflächen der Bundesrepublik Deutschland-West (BRECHTEL & POHLMANN, 1990). Zur optimalen Ernährung der beprobten Bestände reicht etwa 12 kg ha⁻¹ a⁻¹ Stickstoff aus (ULRICH et al., 1979; BALAZS, 1991).

Der durchschnittliche Ammoniumanteil im Kronendurchlaß der Fichte beträgt nur rd. 39 % (im Freilandniederschlag war er noch 42 %), so daß eine zusätzliche Ammoniumaufnahme über die Nadeln zu vermuten ist.

Die Stickstoffanreicherung im Kronendurchlaß der Fichte im Vergleich zum Freilandniederschlag lag zwischen 1,4 (Meßgebiet Spessart) und 2,4 (Meßgebiet Königstein) mit einem Gesamtmittel von 1,9.

Die ersten Ergebnisse des Streulysimeters an der Hauptmeßstation Witzenhausen zeigen, daß die Nitratkonzentrationen des Streuschichtsickerwassers (die Hauptwurzelzone der Fichte) deutlich über denjenigen der Ammoniumkonzentrationen liegen (Abb. 3). In der Abbildung 3 ist auch die Kaliumkonzentration aufgenommen. Diese drei wichtigen Nährelemente weisen einen ausgeprägten Jahresgang mit einem sommerlichen Maximum auf. Die Ammoniumkonzentration erreicht bzw. übersteigt im Sommer geringfügig die Kaliumkonzentration. Hieraus resultiert ein NH₄/K-Verhältnis, das nach dem Forschungsbeirat Waldschäden/Luftverunreinigungen der Bundesregierung (1989) wachstumshemmend auf das Wurzelwachstum wirkt.

Die Abbildung 4 zeigt die durchschnittlichen Nitratkonzentrationen des Bodensickerwassers in 1 m Bodentiefe. Diese Bodentiefe stellt für die Böden etwa die untere Grenzfläche der Durchwurzelungszone dar. Im Jahresdurchschnitt weisen die Hauptmeßstationen nur eine geringe Schwankung auf. Die höchsten Nitratkonzentrationen mit rd. 45,33 und 29 mg/l wurden an den Hauptmeßstationen Königstein, Fürth und Witzenhausen gemessen. Demgegenüber waren die Nitratkonzentrationen des Bodensickerwassers in entsprechenden Tiefen an den Hauptmeßstationen Grebenau, Frankenberg und Spessart mit unter 5 mg/l sehr gering.

Die Nitratkonzentrationen waren in den benachbarten Schuttquellen bzw. in oberen Quellbächen deutlich geringer (Abb. 4). Nur die Quelle Hausfirstborn im Meßgebiet Witzenhausen, deren Deckschicht und Grundwasserleiter eine sehr gute Durchlässigkeit und eine hohe Säurebelastung aufweist, hat auch im Jahresdurchschnitt mit rd. 17 mg/l eine hohe Nitratkonzentration. Bei Einzelterminen wurden Nitratkonzentrationen bis zu 28 mg/l festgestellt.

Die Ammoniumkonzentrationen waren sowohl im Bodenwasser von 1 m Tiefe als auch im Quellwasser sehr niedrig.

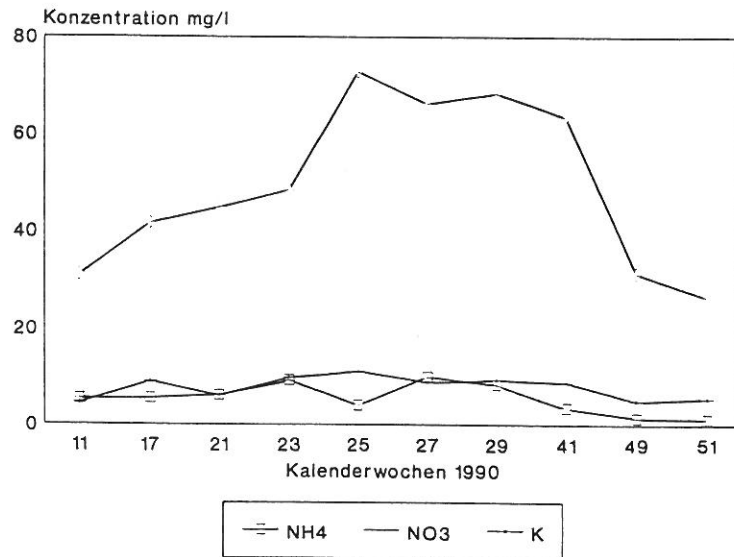


Abbildung 3
Jahresverlauf der Ammonium-, Nitrat- und Kaliumkonzentrationen (mg/l) des Streusickerwassers an der WdI-Hauptmeßstation Witzenhausen

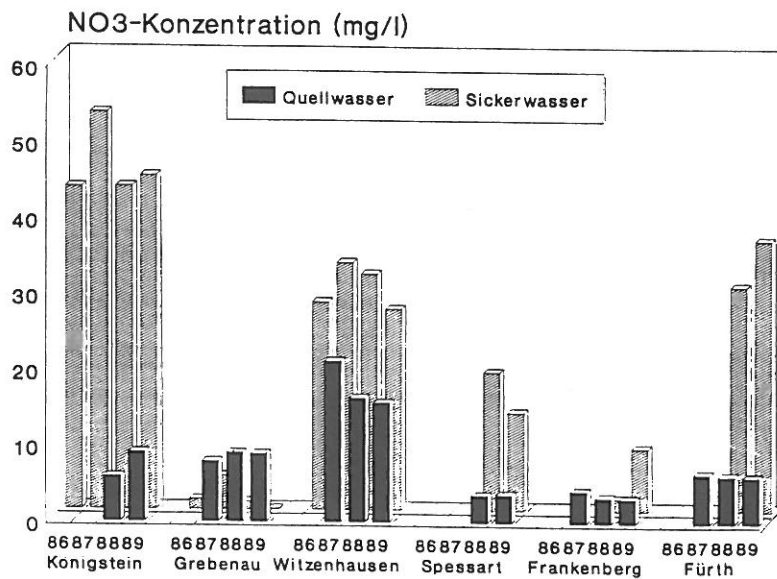


Abbildung 4
Mittlere jährliche Nitratkonzentrationen (mg/l) des Bodensickerwassers in 1 m Tiefe und benachbarter Schuttquellen in den 6 WdI-Meßgebieten Hessens

Folgerungen

Die Meßergebnisse des forsthydrologischen Beitrages der "Waldökosystemstudie Hessen" belegen für die 6 WdI-Meßgebiete, daß die Hauptprobleme der Depositionsbelastung und deren Folgen für die Waldökosysteme im Oberboden liegen. Im Streuschichtsickerwasser treten hohe Nitrat- und Ammoniumkonzentrationen auf, die kaum reduziert in die Tiefe weitergereicht werden, weil z.B. der Baumbestand in drei der WdI-Meßgebiete nicht mehr in der Lage ist, das hohe luftbürtige Stickstoffangebot zu reduzieren. Der hohe Säureeintrag begünstigt einerseits den chemischen Abbau des Humus, andererseits behindert er stark den biologischen Streuabbau, so daß sich auf der einen Seite keine Dauerhumusformen bilden können und auf der anderen Seite zuviel zusätzlich versauernd wirkendes Ammonium gebildet wird, das allzuleicht, wie die Grundlagenforschung zeigt (Mohn, 1990), von den Nadelbäumen bevorzugt aufgenommen wird, was zu Ernährungsstörungen und u. U. zu Ammoniumtoxizität führen kann.

Die hohen Nitratkonzentrationen der Boden- und Quellwasser zeigen, daß die aquatischen Systeme ebenfalls gefährdet sind, so daß neben SO_2 und NO_x auch die NH_3 -Emissionen drastisch reduziert werden müssen. Die Realität zeigt jedoch, daß diese rationelle Forderung nur ungenügend in der Praxis umgesetzt werden kann, so daß die Suche nach weiteren schadensbegrenzenden Strategien erforderlich ist.

Literatur

- BALAZS, A., 1991. Niederschlagsdeposition in Waldgebieten des Landes Hessen - Ergebnisse von den Meßstationen der "Waldökosystemstudie Hessen". Forschungsberichte Hess. Forstliche Versuchsanstalt, Hann. Münden. 11. 1-168.
- BRECHTEL, H. M. & HAMMES, W., 1984. Aufstellung und Betreuung des Niederschlagssammlers "Münden". Meßanleitung Nr. 3,2. Auflage der Hess. Forstlichen Versuchsanstalt, Institut für Forsthydrologie, Druck und Bezugsquelle Hess. Forstl. Versuchsanstalt, Hann. Münden. 13 S.
- BRECHTEL, H. M. & POHLMANN, H., 1990. Regionale Unterschiede der jährlichen Niederschlagsdeposition von Säurebildnern im Freiland und unter Fichtenaltbeständen in der Bundesrepublik Deutschland. VDI Berichte. Nr. 837. 343-372.
- Forschungsbeirat Waldschäden/Luftverunreinigungen der Bundesregierung und der Länder, 1989. Dritter Bericht. 1-611.
- GÄRTNER, E. J., 1983. Das Hessische Untersuchungsprogramm "Waldbelastungen durch Immissionen - WdI". Allgem. Forstzeitschrift. 26-27. 641-645.
- GÄRTNER, E. J., 1987. Beobachtungseinrichtungen des Hessischen Untersuchungsprogrammes "Waldbelastungen durch Immissionen - WdI". Forschungsberichte Hess. Forstl. Versuchsanstalt. Hann. Münden. 1. 1-110.

- HOFMANN, G., HEINS DORF, D. & KRAUSS, H. H., 1990. Wirkung atmogener Stickstoffeinträge auf Produktivität und Stabilität von Kiefern-Forst-ökosystemen. Beiträge für die Forstwirtschaft. 24. H 2. 59-73.
- MATZNER, E. & ULRICH, B., 1984. Raten der Deposition, der internen Produktion und des Umsatzes von Protonen in zwei Waldökosystemen. Z. Pflanzenernähr. u. Bodenk. 147. 290-308.
- MOHR, H., 1990. Der Stickstoff - ein kritisches Element der Biosphäre. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg. 1-40.
- ULRICH, B., MAYER, R. & KHANNA, P. K., 1979. Deposition von Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen in Waldökosystemen im Solling. Forstliche Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt. Bd. 58. S. 1-291.